

# 컨버터 OBD에 대한 연구

## A Study on Converter OBD

손 건 석\*, 윤 승 원\*, 김 대 중\*, 전 상 진\*\*  
Geon Seog Son, Seung Won Yun, Dae Joong Kim, Sang Jin Jeon

### ABSTRACT

As a part of stringent emission regulations, OBD on a converter is requested by EU and CARB. It demands that MIL is light-on to inform the failure to the driver when the converter is failed in its function. Usually dual oxygen sensor method is used for converter OBD. For this, detail methods, like amplitude ratio, time delay and frequency ratio methods are adapted for vehicle application. Actually, the cars produced later than MY94 for US market are using one of these methods.

In this study, OSCs of converters are investigated with an absolute measuring method. The converters are aged with a furnace aging, an engine bench aging and vehicle aging method to represent various aging condition in field applications. An OBD index that is used for TLEVs regulation is also investigated to find a relation between two parameters. The relations of these parameters with THC emission on vehicle are evaluated.

주요기술용어 : OSC(산소저장능력), OBD(자기진단기능), Dual oxygen sensors(2중산소센서),

### Nomenclature

ADP : alternate durability protocol  
CARB : california air resources board  
CCC : close coupled catalyst  
cpsi : cell per square inch  
ECU : engine control unit  
EU : european union  
FTP : federal test procedure  
MIL : malfunction indication light

MFC : mass flow controller  
OBD : on board diagnostics  
OSC : oxygen storage capacity  
SV : space velocity  
TLEV : transitional low emission vehicle  
ULEV : ultra low emission vehicle  
THC : total hydrocarbon

### 1. 서 론

대기 오염 악화로 인한 환경 파괴와 자국민 건강 피해를 최소화하기 위해 시작된 자동차 배기 규제는 자동차 수의 빠른 증가로 인해 지속적으

\* 회원, 고등기술연구원

\*\* 회원, 대우자동차 기술연구소

로 강화되고 있다. 이러한 배기규제는 유해물질 배출량에 대한 규제 강화와 함께 내구도 강화 및 OBD 기능을 요구하고 있다.

OBD 기능은 자동차 배출가스에 영향을 미치는 부품에 대한 고장진단 기능으로 배기가 임의의 규제치를 초과하는 경우에 이를 운전자에게 지시하는 기능과 고장 부품에 대한 정보를 ECU에 저장하는 기능을 요구하며, 대표적인 대상 부품이 배기 정화를 담당하는 촉매 컨버터이다. 컨버터에 대해 요구되어지는 OBD 기능은 (1) THC 배출량이 규제치의 1.75배를 상회하거나, (2) 정확율이 50% 이하로 저감되는 경우에 이를 운전자에게 알려야 한다. 컨버터 OBD 대응기술로 현재 널리 사용되는 기술은 두 개의 산소센서를 사용하여 촉매의 OSC를 간접적으로 측정하는 방법이다.<sup>1~3)</sup> 이는 촉매의 정확성능이 컨버터의 산소저장능력에 비례한다는 가정 위에서 존립하는 기술로 OSC를 컨버터 전단과 후단에 설치한 산소센서의 신호를 가공해 사용한다. 전단과 후단의 산소센서를 가공하는 방법으로는 시간 지연법(time delay method), 진폭비법(amplitude ratio method), 주파수법(frequency method) 등이 알려져 있으며, 일련의 선행 연구자들에 의하면 촉매 재료 및 담지 기술의 발달과 엔진 제어 기술의 향상과 강화된 배기규제로 인해 냉시동 초기 수 분의 배출량이 전체 배출량의 80 ~ 90%를 차지하게 되어 컨버터 OSC와 배출가스와의 상관관계가 미약한 것으로 보고되었다.<sup>1~3)</sup> 즉 촉매의 열화에 따라 촉매의 산소저장 능력은 급격하게 저하하나 엔진 제어 기술의 발달과 촉매 재료 및 담지 기술의 향상으로 촉매의 정확성능은 더디게 저하하기 때문이다. 또한 강화된 배기규제를 만족하는 컨버터는 활성화 된 이후에는 열화가 심하게 진행되었음에도 불구하고 정확성능이 90%를 상회하여 활성 이전인 냉시동 초기 배기가 전체 배출량에 결정적인 영향을 미친다. 이에 반해 산소센서를 이용한 OSC 기술은 촉매가 완전히 활성화된 이후에 임의로 설정한 기준을 만족하는 엔진 조건에서만 측정이

가능하여 OSC와 유해물질 배출량과의 상관관계가 미약하다.

본 연구에서는 북미 TLEV 규제를 만족하는 차량 2종의 OBD index와 절대 산소저장능력, FTP75 배기 시험 결과의 상관관계를 엔진벤치 열화, 전기로 열화, 실차 열화법 등으로 열화한 컨버터에 대해 평가하였다. 이를 통해 2개의 산소센서를 이용하는 현 OBD기술의 문제점을 도출하고 개선 방안을 제시하였다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 컨버터 샘플 준비

컨버터는 0.47L 400 cpsi 세라믹 담체에 귀금속을 담지하여 CCC 위치에 사용하였다. 컨버터는 다양한 운전자와 운전 조건에 의해 열화되는 것을 모사하기 위해 Table 1과 같이 전기로 열화법과 엔진 벤치 열화법, 실차 열화법을 사용하였다. 전기로 열화법에서는 공기 분위기에서 최고 온도와 최고 온도 유지 시간을 변경하여 열화하였다. 엔진 벤치 열화법에서는 fuel-cut 열화법과 일산화탄소 공급법을 이용하여 촉매 입구 온도를 변화시켜 가며 열화 시간을 조절하였다. 실차 열화법은 컨버터를 실차에 장착하고 차량 동력계 상에서 ADP 주행 기법으로 열화하였다.

Table 1 Converter aging methods

Method	Condition	Duration
Oven Aging	1300 °C	60 hours
	1200 °C	20, 30 hours
	1200+1250 °C	40+60 hours
Engine Bench Aging	A	110 hours
	B	25 hours
	C	50, 100, 150 hours
Vehicle Aging	ADP	80,000 km

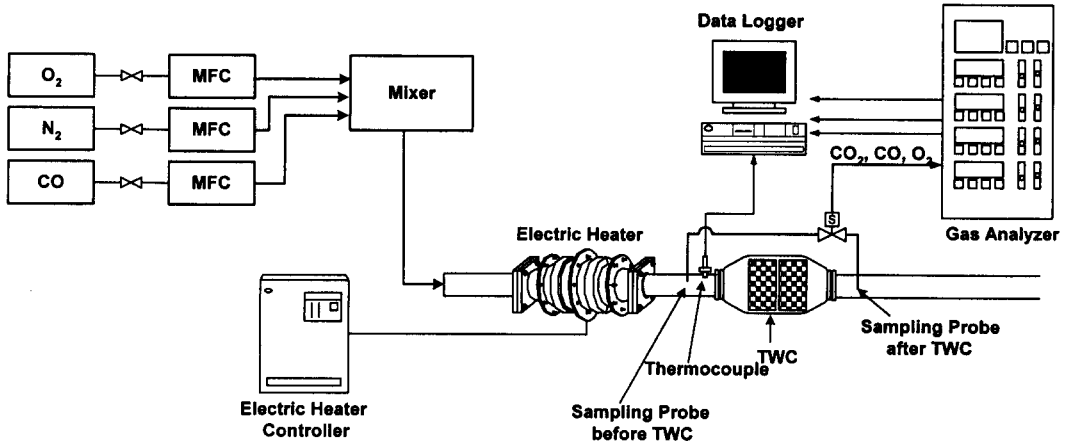


Fig. 1 Apparatus diagram for an absolute OSC measurement test aging methods

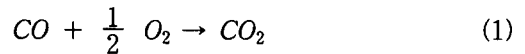
## 2.2 절대 산소저장 능력 평가

컨버터의 절대 OSC를 평가하기 위해 Fig. 1 과 같은 장치를 구성하였다. 임의로 설정한 온도와 SV 조건에서 컨버터 내 OSC를 측정하는 본 기법은 산소저장 물질을 충분히 산화한 상태 (bulk oxidation state)에서 환원제가 사용할 수 있는 전체 산소량을 구하는 방법이다. 컨버터의 촉매 일부분을 취하여 OSC를 평가하는 기존의 기법은 시료 채취 구간에 따라 촉매 열화 정도가 상이하여 컨버터 전체의 OSC를 대표하는데 많은 어려움이 있다. 이에 비해 본 방법은 차량 장착이 가능한 완성품 자체를 평가하는 것으로 컨버터 OSC를 대표할 수 있으며, 차량 상태의 조건을 유지할 수 있는 장점이 있다.

절대 OSC에 영향을 미칠 수 있는 컨버터에 흡착된 이물질과 배기 성분을 제거하기 위해 실험 조건의 온도보다 고온에서 산소를 공급하여 하소한 후, 고순도 산소를 질소가스 분위기에서 공급하여 산소를 흡착시킨다. 산소가 완전히 흡착한 후 질소분위기에서 고순도 일산화탄소를 공급하여 촉매에 흡착하였던 산소와 반응하여 발생하는 이산화탄소의 농도로부터 OSC를 구하며,

Fig. 2는 본 실험에 사용한 절대 OSC 측정 알고리즘을 나타낸다. 각 가스의 공급은 MFC와 전자밸브 (solenoid valve) 를 이용하여 제어하였으며, 전기 발열체를 사용하여 컨버터 입구의 가스 온도를 조절하였다. OSC 측정시 입구 가스 온도는 350℃이며, SV는 10,000 1/hr로 하였다. 가스 농도는 Horiba MEXA9100을 이용하여 분석하였으며, 가스 온도 및 농도 등의 데이터는 PC에 저장하였다. 각 컨버터에 대한 평가는 2회를 수행하여 그 평균을 표시하였다.

식 (1)은 OSC를 구하는데 사용하는 식으로 1몰의 이산화탄소에 1몰의 일산화탄소와 1/2 몰의 산소가 필요함을 이용해 컨버터 전체의 OSC를 구하였다.



## 2.3 차량 시험

열화한 컨버터의 배기 시험을 위해 TLEV 차량 2종을 선택하였다. 선정된 TLEV 차량의 OBD 기능은 CCC 전·후에 부착된 산소센서를 이용하는 것으로 진폭비 (amplitude ratio) 를 이용하는 방식을 채택하고 있으며, 일정한 범위의 부하와 속도 조건에서 OBD index 계산을 수

행한다. 두 차종에 사용된 산소센서의 종류는 동일 사양이다. 차량에서의 OBD index는 매 시험 후 ECU로부터 구하였으며, 역시 2회 평균값을 이용하였다.

차량은 6,400 km를 주행한 후 FTP75 모드 평가로 배기를 측정하였다. 열화 컨버터들의 신규 장착 때마다 200 km 이상을 FTP75 모드로 주행하여 컨버터의 상태가 ECU에 충분히 전달 되도록 하여 앞선 컨버터의 영향을 최소화하도록 하였다.

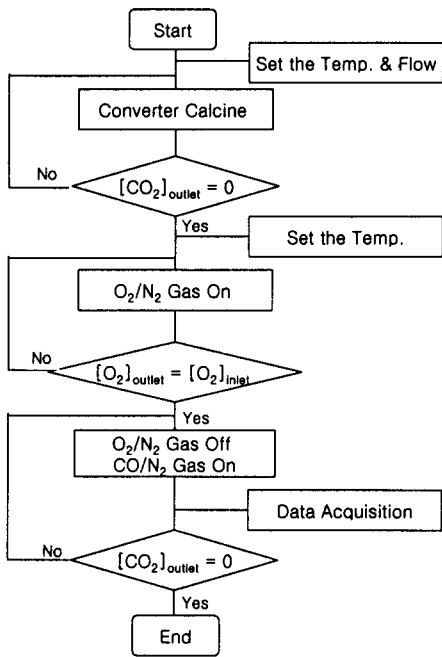


Fig. 2 Test algorithm for absolute OSC measurement

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 절대 OSC와 OBD index의 관계

Fig. 3은 절대 OSC와 OBD index의 상관관계를 나타낸다. 그림에서 세로 축과 가로 축의 값은 모두 열화되지 않은 초기 상태의 컨버터의 값을 기준으로 나타낸 것이다. 절대 OSC와 OBD index는 거시적으로 선형적인 관계를 보이

나 직선에서 크게 벗어나는 데이터가 관찰된다. 절대 OSC의 미량 변화에 OBD index가 크게 변화하는 것은 차량 상태에서 측정하는 OBD index 수행 조건이 일정 범위를 갖기 때문에 발생하는 문제로 해석된다.

Roose 등<sup>4)</sup>의 연구에 의하면 엔진 속도 및 부하의 변동에 따른 흡기관의 유량 변화에 따라 동일 컨버터의 OBD index의 차가 크게 발생한다. 따라서 본 시험의 경우, LEV 배기규제 프로그램에서 가장 낮은 수준의 TLEV 규제이므로 OBD index 수행 가능 조건 범위가 넓게 설정되어 낮은 유량에서 측정한 OBD index와 높은 유량에서 측정한 OBD index가 비슷한 절대 OSC를 갖는 컨버터에서 크게 차이가 나게 한 원인으로 판단된다.

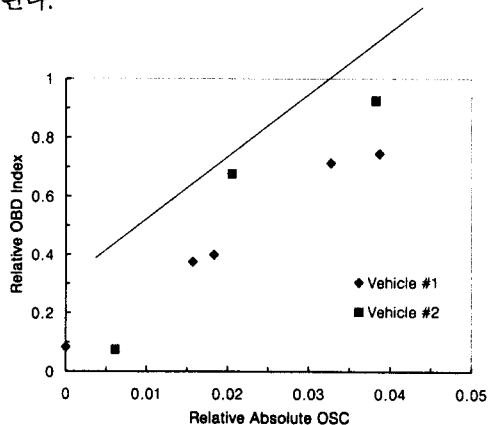


Fig. 3 Relationship between relative absolute OSC and relative OBD index

#### 3.2 OBD Index와 THC의 관계

Fig. 4는 OBD index와 THC 배출량과의 관계를 나타낸다. 그림에서 세로 축과 가로 축의 값은 모두 열화되지 않은 초기 상태의 컨버터의 값을 기준으로 나타낸 것이다. 동일한 배기규제를 만족하는 차량 시스템(동일한 사양의 산소센서와 ECU)에서 비슷한 양의 THC를 배출하는 경우에 OBD index 차이가 크게 발생한 것은 차

량의 증량과 흡기시스템 등의 사양이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 차량의 중량이 다르므로 부하 조건이 다르고 이에 따라 흡기 시스템으로 유입되는 공기의 유량이 서로 다르기 때문에 동일한 ECU 조건에서는 OBD index가 크게 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 동일한 사양의 엔진과 산소센서, ECU 및 배기 시스템을 갖는 경우라 할지라도 차종에 따라 가장 적합한 OBD index 조건을 설정해야 함을 알 수 있다.

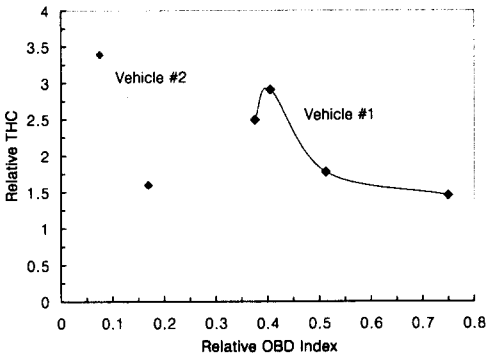


Fig. 4 Relationship between relative THC emission and relative OBD index

### 3.3 절대 OSC와 배기와의 관계

Fig. 5는 차량 #1의 FTP75 배기 평가 결과와 절대 OSC의 상관관계를 나타낸다. 그림에서 세로 축과 가로 축의 값은 모두 열화되지 않은 초기 상태의 컨버터의 값을 기준으로 나타낸 것이다. 가로 축은 절대 OSC를 대수(logarithm)로 표현한다. THC와 CO의 경우, 절대 OSC가 줄어들며 따라 배출량은 비선형적으로 급격히 증가하고 있다. OSC가 초기 OSC의 10% 이하로 절감되어도 THC 배출량은 최고 200% 이상을 초과하지 않고 있으나, 5% 이하로 OSC가 줄어들게 됨에 따라 THC 배출량은 200% 이상 증가하는 비선형적 관계를 나타낸다. 따라서 OSC가 90% 이상 줄어드는 구간에서 THC 배출량은 문제가 되지 않으나, 그 이상으로 줄어드는 5% 구간에

서는 배출량이 크게 증가하여 OBD 기능 적용이 필요하다.

NOx의 경우, 절대 OSC의 감소에 비해 배출량은 크게 증가하지 않음을 알 수 있어, OSC와 NOx의 상관관계가 상대적으로 적음을 알 수 있다. 또한 세 성분 모두, OSC가 매우 희박한 컨버터(relative OSC < 0.1)에 있어서 OSC가 상대적으로 높음에도 불구하고 배출량이 많은 경우를 볼 수 있다. 이는 촉매의 OSC가 어느 일정량 이하일 경우, 촉매가 열화되는 조건에 의해 OSC와 정화성능이 불일치하는 경우가 발생함을 의미한다. 이는 정화 반응을 지배하는 귀금속 촉매와 OSC를 지배하는 조촉매(Ce 등)의 열화 정도가 노출 온도와 피독 등과 같은 열화 조건에 따라 다소 다르기 때문인 것으로 판단된다. 즉 열적 열화는 알루미늄 중간층(washcoat)의 소결, Ce 및 귀금속 촉매의 소결<sup>5)</sup>을 일으켜 컨버터 전체의 OSC 저감에 주로 관여하며, 피독 열화는 OSC 보다는 활성 시간 지연<sup>6)</sup>에 주로 관여하기 때문에 열화 조건에 따라 OSC와 THC 배출량이 서로 다르게 나타날 수 있다.

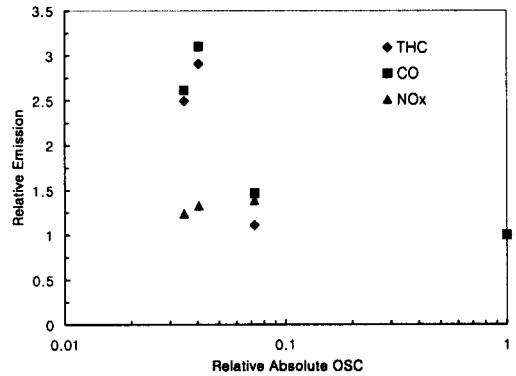


Fig. 5 Relationship between relative emissions and relative absolute OSC of vehicle #1

Fig. 6은 차량 #2의 FTP75 THC 배기 결과와 절대 OSC의 상관관계를 나타낸다. 그림에서 세로 축과 가로 축의 값은 모두 열화되지 않은 초기 상태의 컨버터의 값을 기준으로 나타낸 것

이다. 가로 축은 절대 OSC를 대수(logarithm)로 표현한다. Fig. 5의 차량 #1의 경우와 달리 비교적 대수 선형의 관계가 있음을 알 수 있다. 이는 같은 조건에서 열화되었다 할지라도 평가되는 차량의 엔진, ECU, 총중량과 같은 조건에 의해 배기 결과가 다를 수 나타낸다. OSC와 THC배출량의 전체적인 관계는 대수 선형의 관계를 보이나, 절대 OSC와 THC 배출량의 1 대 1 비교에서는 Fig. 5와 같이 OSC가 매우 희박한 컨버터 (relative OSC < 0.1)에 있어서 OSC가 상대적으로 높음에도 불구하고 배출량이 많은 경우를 볼 수 있다.

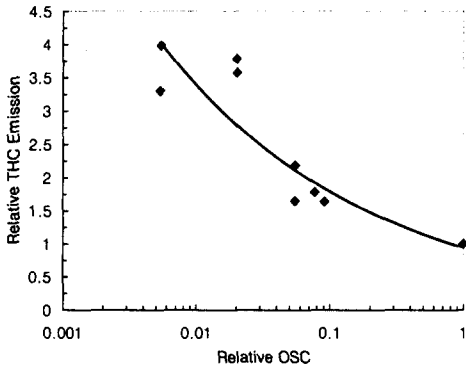


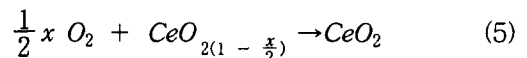
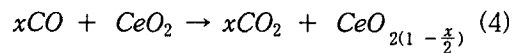
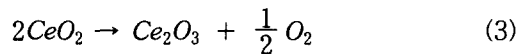
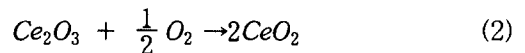
Fig. 6 Relationship between relative THC emission and relative absolute OSC of vehicle #2

상기 두 결과에서 볼 수 있듯이 절대 OSC와 THC 배출량 사이에는 비선형적 관계가 존재하며, OSC가 초기 상태에 비해 10% 이하로 감소하는 시점부터 배출량은 급격히 증가하기 시작한다. 따라서 10% 이하로 존재하는 OSC의 미세한 변화를 감지할 수 있는 OBD 알고리즘과 센서의 사용이 요구됨을 알 수 있다. 또한 이 구간에서는 열화 조건에 따라 OSC가 많음에도 불구하고 THC 배출량이 많은 경우가 발생하므로 여러 실차 열화 조건을 모사할 수 있는 다양한 열화 기법으로 열화한 후 이들의 결과를 바탕으로 MIL 조건을 설정하여야 함을 알 수 있다.

이러한 OSC와 THC 배출량과의 비선형적 관

계는 ECU의 전자제어 기술의 발전에서 출발한다. 엔진 제어 기술의 발달은 연소실 내 공연비 변화를 이론공연비로부터 진폭은 적고 주기는 빠르게 제어할 수 있게 하여 연소 후, 배기 내의 산소 변화량이 감소하여 촉매의 초기 OSC 변화에 상대적으로 덜 민감하게 한다. 즉 컨버터 OSC가 초기 상태에서는 배기 내 산소 변화보다 월등히 높아 정화반응에 영향이 없으나, 열화가 진행되면서 OSC가 저하되고 감소 폭이 초기 10% 이하에 도달하였을 때 배기 내 산소 변화에 대응하지 못하게 되는 것이다.

컨버터 내 대표적인 산소저장물질인 Ce는 이론적으로 식 (2)와 같이 연료 희박영역에서 배기 내 산소와 반응하여 산소를 저장하고, 연료 농후 영역에서 식 (3)과 같이 환원하여 산소를 공급한다. 그러나 출발물질의 개선과 Ce 격자 내 스트레인(strain)을 증가시켜 산소 원자의 확산을 증가시키는 조촉매의 개발로 Ce의 산소 저장, 공급 반응은 보다 빠르게 진행되어 Ce 입자 전체가 산화와 환원 반응에 관여하는 것이 아니고 최외곽층에서만 부분적인 산화와 환원 반응에 관여하는 식 (4), (5)와 같은 반응이 존재한다.<sup>7)</sup> 이러한 반응에 의해 배기 내의 산소 농도가 빠르게 변화하는 것에 대한 대응이 가능하여 절대 OSC의 감소가 90% 이상 진행되더라도 높은 정화반응이 가능하게 하는 것이다.



컨버터 내 OSC 물질인 Ce 및 관련 조촉매 성분들의 양을 줄여 OSC와 배출량과의 관계를 선형형으로 개선하는 문제는 현재로서는 매우 어렵다. Ce 등이 OSC에 주로 작용하기는 하나 귀금속 촉매의 내열성과 분산성을 향상하는 조촉매로

서, 미연 탄화수소의 정화 기능을 분산하는 촉매로서, water gas shift, steam reforming 반응

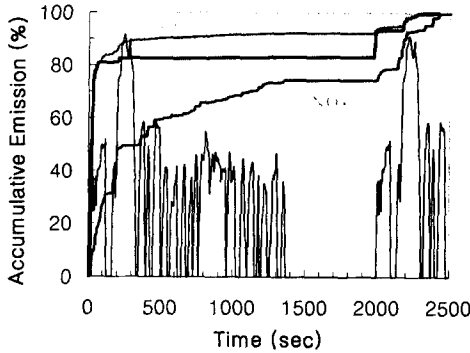


Fig. 7 Accumulative emissions with a aged converter for FTP75 mode test

의 촉매로서의 기능을 가지고 있어 현실적으로 어렵다.

Fig. 7은 Fig. 3에서 THC 배출량이 가장 많은 컨버터를 장착한 경우의 FTP75 모드 평가시 유해물질 배출량 누적분포를 나타낸다. 촉매가 완전히 활성화된 200 초 이후의 배출량은 전체 배출량의 10%에도 미치지 못한다. 전술한 바와 같이 엔진 제어 기술과 OSC 관련 조촉매의 발달로 촉매가 심각하게 열화된 경우라도 엔진이 정상적으로 작동되는 경우, 정화성능은 95% 이상을 유지할 수 있다. 또한 컨버터가 실차에서 열화되는 경우, 촉매의 활성화에 영향을 미치는 주요 열화 인자는 피독 현상이다. 실험에 의하면 피독은 컨버터 전면으로부터 2~3 cm의 깊이에 집중되어 촉매의 성능을 저하하며 피독된 길이의 촉매를 가열하는데 소요된 시간만큼 컨버터 전체 활성화 시간을 늦춘다. 결국 차량의 유해물질 배출량은 촉매가 활성화되기 이전에 배출되는 양에 의해 결정적으로 지배받으나, 현재의 OBD 알고리즘은 촉매가 완전히 활성화된 이후 구간에서 임의의 운전 조건을 만족하는 영역에서만 OBD 기능을 수행하므로 촉매 간의 성능 변별력이 낮을 수밖에 없다. 여기에 강화되는 배기규제에서

는 상대적으로 적은 양의 배출량 증가로도 OBD 규제를 초과할 수 있으므로 현재의 변별력으로는 ULEV 또는 그 후의 배기규제를 만족하기는 힘들 것으로 판단되며, 전체 배출량에 직접적인 영향을 미치는 촉매의 활성단계 성능을 예측할 수 있는 OBD 알고리즘의 개발이 필요하다.

#### 4. 결론

전기로 열화, 엔진 벤치 열화, 실차 열화법으로 열화한 컨버터를 2종의 TLEV 차량에 장착하여 FTP75 모드 평가시 OBD index와 유해물질 배출량을 구하였다. 이를 모델가스법으로 측정된 절대 OSC와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) OBD 기능의 차량 적용은 동일 사양의 컨버터, ECU, 산소센서 등을 사용할지라도 엔진 속도 및 부하의 변동에 따른 흡기관의 유량 변화가 발생하여 동일 컨버터의 OBD index의 차가 크게 발생하므로 차종에 적합한 OBD 수행 조건을 각 차종마다 설정하여야 한다. 또한 배기규제가 강화될수록 OBD 기능 판단 구간을 보다 정밀하게 조정하여 OBD index의 편차를 줄여야 한다.

2) 절대 OSC와 OBD index와 THC 배출량은 서로 비선형 관계에 있으며, 이는 엔진 제어 기술과 촉매 출발 물질 및 조촉매의 개선에 기인한다. 또한, 컨버터 열화 조건에 따라 촉매가 받는 영향이 다르다. 즉, 열적 열화인 경우는 OSC가 크게 영향을 받으며 피독 열화인 경우는 활성화 시간 지연에 따른 THC 배출량이 크게 영향을 받는다. 따라서 OBD 적용을 위한 컨버터 열화는 실차에서 발생할 수 있는 열화 조건을 대표할 수 있는 다양한 기법으로 시행되어야 한다.

3) 컨버터 OSC와 THC 배출량과의 비선형 관계는 현재의 알고리즘을 사용할 경우, 강화되는 배기규제에서는 더욱 심화될 것이라 판단되기 때문에, ULEV 이상의 강화되는 배기규제에서는 촉매의 성능이 THC 배출량과 직접적인 관계에

있는 촉매 활성 단계에서 OBD 판단 기능을 수행할 수 있는 새로운 OBD 로직이 개발되어야 한다.

### 참 고 문 헌

- 1) J. S. Hepburn, et al., "A Review of the Dual EGO Sensor Method for OBD-II Catalyst Efficiency Monitoring", SAE 942057, 1994.
- 2) J. S. Hepburn, et al., "Optimization of the Monitored Volume for LEV Catalyst Monitoring", SAE 972847, 1997.
- 3) J. S. Rieck, "OBD-II Performance of Three-Way Catalysts", SAE 980665, 1998.
- 4) J. W. Roose, et al., "Evaluation of On-Board Diagnostic Systems and Impact of Gasoline Containing MMT", SAE 972849, 1997.
- 5) 손건석, 이지연, 이귀영, 최병철, "촉매의 열화에 관한 연구 I," 한국자동차공학회논문집, 97370052, 제5권 제3호, pp86-94, 1997.
- 6) 이지연, 손건석, 김대중, 이용래, 이귀영, "촉매 열화 분포에 관한 연구," 한국자동차공학회 97춘계학술대회 논문집, 97380057, pp393-399, 1997.
- 7) J. P. Curf, et al., "New Generation of Rare Earth Compounds for Automotive Catalysis", SAE 961906, 1996.